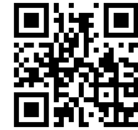




УДК 69.003: 658.5
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-44-54

Научная статья



Перспективы применения BIM-технологий на всех стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта

И. Ю. Зильберова[1], **И. В. Новоселова**[1] ✉, **В. Д. Маилян**[2], **К. С. Петров**[1], **А. Е. Швец**[1]

[1] Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
[2] Южный федеральный университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42
✉ irina1000000@gmail.com

Аннотация

Введение. В современном мире отечественные предприятия строительной отрасли сталкиваются с рядом трудностей. Повышенная неопределенность экономической ситуации в стране вынуждает организации строительной сферы при реализации инвестиционно-строительных проектов подстраиваться под вновь возникающие обстоятельства, сокращать горизонт планирования и применять современные технологии и методы управления. BIM-технологии демонстрируют свою эффективность на всех стадиях жизненного цикла строительных проектов, что обуславливает перспективность их применения в сложившихся реалиях.

Материалы и методы. Возможности применения BIM-технологий в строительных проектах становятся все шире — от ставшего уже привычным проектирования с использованием цифровых моделей до создания обширных баз данных, используемых при моделировании процессов эксплуатации объектов, их реконструкции или даже сноса. На сегодняшний день BIM-технологии являются эффективным инструментом для достижения внутренних целей строительных организаций и при организации эффективного взаимодействия с конечным потребителем строительной продукции.

Результаты исследования. Применение BIM-технологий позволяет принимать эффективные технические и организационно-технологические решения как при стратегическом планировании, так и при оперативном управлении в ходе реализации инвестиционно-строительных проектов. Технологии информационного моделирования позволяют экономить ресурсы на всех стадиях жизненного цикла проектов, однако наилучших результатов можно добиться при комплексном подходе к их внедрению.

Обсуждение и заключения. Получив широкое применение в зарубежной строительной практике, BIM-технологии позволяют снижать общую стоимость и сроки реализации инвестиционно-строительных проектов и при этом повышать качество проектно-изыскательских работ и СМР. Качественные и количественные выгоды для организаций строительной сферы при внедрении технологий информационного моделирования обуславливают интерес к ним со стороны российских компаний. В условиях активной цифровой трансформации, в том числе при поддержке государства, BIM-технологии становятся инструментом оптимизации деятельности предприятий строительной сферы при реализации инвестиционно-строительных проектов на каждой из их стадий, а также повышения конкурентоспособности фирм на отечественном и зарубежных рынках.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, инвестиционно-строительный проект, BIM, управление проектом, цифровая информационная модель.

Для цитирования: Перспективы применения BIM-технологий на всех стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта / И. Ю. Зильберова, И. В. Новоселова, В. Д. Маилян, [и др.] // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2023. – Т. 2, № 1. – С. 44–53. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-44-54.

Original article

Prospects for the Use of BIM Technologies at All Stages of the Life Cycle of an Investment and Construction Project

Inna Yu. Zilberova[1], **Irina V. Novoselova**[1]✉, **Vadim D. Mailyan**[2], **Konstantin S. Petrov**[1], **Artem E. Shvets** [1]

[1] Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation
[2] Southern Federal University, 105/42, B. Sadovaya St., Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ irina1000000@gmail.com

Introduction. At the present stage, domestic enterprises in the construction industry are faced with a number of difficulties. The increased uncertainty of the economic situation in the country forces the organizations of the construction sector, when implementing investment and construction projects, to adapt to newly emerging circumstances, shorten the planning horizon, and apply modern technologies and management methods. BIM technologies demonstrate their effectiveness at all stages of the life cycle of construction projects, which makes them promising to use in the current realities.
Materials and Methods. The possibilities of using BIM technologies in construction projects are becoming wider - from the familiar design using digital models to the creation of extensive databases used in modeling the processes of operation of objects, their reconstruction or demolition. Today, BIM technologies are an effective tool for achieving the internal goals of construction organizations and for organizing effective interaction with the end user of construction products.
Results. The use of BIM technologies makes it possible to make effective technical, organizational and technological decisions, both in strategic planning and in operational management during the implementation of investment and construction projects. Information modeling technologies save resources at all stages of the project life cycle, but the best results can be achieved with an integrated approach to their implementation.
Discussion and Conclusions. Having been widely used in foreign construction practice, BIM technologies make it possible to reduce the total cost and timing of the implementation of investment and construction projects and at the same time improve the quality of design and survey work and construction and installation work. Qualitative and quantitative benefits for organizations in the construction industry in the implementation of information modeling technologies determine the interest in them from Russian companies. In the context of active digital transformation, including with the support of the state, BIM technologies are becoming a tool for optimizing the activities of construction enterprises in the implementation of investment and construction projects at each of their stages, as well as increasing the competitiveness of firms in the domestic and foreign markets.

Keywords: information modeling technologies, investment and construction project, BIM, project management, digital information model.

For citation: I. Yu. Zilberova, I. V. Novoselova, V. D. Mailyan, [et. al.]. Prospects for the use of BIM technologies at all stages of the life cycle of an investment and construction project. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2023, vol. 2, no 1, pp. 44–53. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-44-54.

Введение. Строительство является одной из ключевых отраслей в социально-экономическом развитии страны, выступая важным фактором ее стабильности [1]. Капитальное строительство повышает материальное и культурное состояние общества, решает жилищные проблемы, развивает народное хозяйство. Несмотря на положительную динамику объемов выполненных работ и числа действующих строительных организаций, отрасль имеет ряд ограничений и трудностей [2]. Актуальными проблемами строительной отрасли в Российской Федерации на данный момент являются повышенные сроки выполнения проектов и возведения зданий и сооружений, постоянное повышение стоимости строительных работ и материалов, недостаток квалифицированных рабочих, низкая готовность отрасли к внедрению инновационных технологий, слабая конкурентоспособность компаний на отечественных и зарубежных рынках [3, 4].

Постоянно возрастающая сложность строительных проектов, динамичное изменение и неопределенность условий, невозможность проведения полноценной инженерной подготовки и качественного осуществления контрольно-надзорной деятельности служат причиной внедрения инновационных технологий и поиска новых организационно-управленческих решений для повышения эффективности реализации инвестиционно-строительных проектов [5, 6]. Внедрение инноваций при реализации инвестиционно-строительных проектов на всех стадиях их жизненного цикла приносит значительный экономический эффект, в том числе путем снижения затрат на каждом этапе инвестиционно-строительного и эксплуатационного процесса.

В настоящее время можно наблюдать интенсивное качественное развитие, которое порождает фундаментальные изменения в строительных организациях. Нестабильность и неопределенность на рынке заставляет организации быть гибкими, т. е. уметь подстраиваться к вновь возникающим обстоятельствам. К наиболее актуальным направлениям на сегодняшний день относится развитие цифровизации и технологий информационного моделирования, применение менеджмента качества и современных методов управления на всех этапах жизненного цикла проектов, а также митигация рисков в индивидуальной и групповой деятельности [7].

Материалы и методы. В настоящее время предприятия строительной отрасли России сталкиваются с рядом трудностей и имеют серьезные внешние и внутренние проблемы. Результаты исследования, проведенного Федеральной службой государственной статистики в 2021 году по выявлению факторов, ограничивающих деятельность отечественных строительных предприятий, представлены на рис. 1.



Рис. 1. Факторы, ограничивающие деятельность строительных предприятий в 2021 году
(по материалам выборочного обследования Федеральной службы государственной статистики)

Высокая стоимость материалов, конструкций и изделий формирует основной фактор, сокращающий развитие предприятий строительной сферы – это низкий совокупный спрос на услуги со стороны государства, частного корпоративного сектора и населения. При этом строительные фирмы, осуществляющие свою деятельность по договору подряда, не имеют возможности значительно повлиять на изменение данной ситуации.

Повышенная неопределенность экономической ситуации в стране (высокая вероятность возникновения экономических изменений в части инфляционной динамики) вынуждает организации строительной сферы сокращать горизонт стратегического планирования. Это обусловлено тем, что неожиданное принципиальное изменение планов и графиков реализации инвестиционно-строительных проектов влечет за собой значительные

издержки фирмы, особенно при длительных производственных и инвестиционных циклах, что особенно характерно для строительной отрасли [8]. Таким образом, происходит замедление как инвестиционной, так и инновационной активности предприятий строительной сферы, а также снижается рост производительности труда и технологического обновления производства.

Низкая производительность труда и потери в производственных процессах приводят к росту цен на материалы, конструкции, изделия, оборудование и услуги, что повышает конечную стоимость возведения объектов [9]. При низком совокупном спросе это является одним из основных факторов ухудшения финансового положения и конкурентоспособности компаний и обуславливает необходимость внедрения прогрессивных методов управления инвестиционно-строительными проектами с применением современных инновационных технологий, в том числе технологий информационного моделирования (BIM).

Внутренние и внешние ограничения и проблемы в строительной отрасли наблюдаются на всех стадиях реализации инвестиционно-строительных проектов: инвестирование, изыскательские работы, экспертиза и получение разрешения на строительство, определение сметных цен, проектирование, возведение объекта и его эксплуатация.

Количество и детализация процедур делают процессы согласования проектной документации и получения разрешения на строительство достаточно сложными и затянутыми во времени [10]. Зачастую при проведении государственной экспертизы обнаруживается, что проектная документация содержит большое количество ошибок и недостатков, устранение которых производится заказчиком уже по ходу проведения экспертизы. Также наблюдается некоторое отставание в развитии отечественных технических средств и технологий для изыскательских работ от достигнутого зарубежными странами уровня.

На сегодняшний день в большинстве случаев проектная документация в России предоставляется в виде двумерных чертежей. Такие проекты могут содержать в себе ошибки и коллизии разного рода, которые не видны при разработке и экспертизе проектной документации, т. к. отсутствуют инструменты объединения всех элементов (разделов документации), разработанных и рассчитанных разными специалистами, в единую информационную трехмерную модель (BIM) [11]. Ошибки при проектировании влекут за собой серьезные временные и материальные затраты на этапе строительства.

Конструктивные и объемно-планировочные решения здания, системы инженерных коммуникаций, сметная документация и пр. формируются различными специалистами и отделами. Изменения, вносимые в проект в процессе строительства, приводят к увеличению сроков и стоимости работ. Чем позднее будут внесены изменения в проект, тем выше будут издержки строительства (рис. 2). Интегрирование программных продуктов является безусловным преимуществом BIM-технологий, т. к. позволяет снизить стоимость моделирования и упростить визуализацию проектируемого здания

Результаты исследования. Внутренние и внешние ограничения и проблемы в строительной отрасли наблюдаются на всех стадиях реализации инвестиционно-строительных проектов: инвестирование, изыскательские работы, экспертиза и получение разрешения на строительство, определение сметных цен, проектирование, возведение объекта и его эксплуатация.

Количество и детализация процедур делают процессы согласования проектной документации и получения разрешения на строительство достаточно сложными и затянутыми во времени [9]. Зачастую при проведении государственной экспертизы обнаруживается, что проектная документация содержит большое количество ошибок и недостатков, устранение которых производится заказчиком уже по ходу проведения экспертизы. Также

наблюдается некоторое отставание в развитии отечественных технических средств и технологий для изыскательских работ от достигнутого зарубежными странами уровня.

На сегодняшний день в большинстве случаев проектная документация в России предоставляется в виде двумерных чертежей. Такие проекты могут содержать в себе ошибки и коллизии разного рода, которые не видны при разработке и экспертизе проектной документации, т. к. отсутствуют инструменты объединения всех элементов (разделов документации), разработанных и рассчитанных разными специалистами, в единую информационную трехмерную модель (BIM) [10]. Ошибки при проектировании влекут за собой серьезные временные и материальные затраты на этапе строительства.

Конструктивные и объемно-планировочные решения здания, системы инженерных коммуникаций, сметная документация и пр. формируются различными специалистами и отделами. Изменения, вносимые в проект в процессе строительства, приводят к увеличению сроков и стоимости работ. Чем позднее будут внесены изменения в проект, тем выше будут издержки строительства (рис. 2). Интегрирование программных продуктов является безусловным преимуществом BIM-технологий, т. к. позволяет снизить стоимость моделирования и упростить визуализацию проектируемого здания.

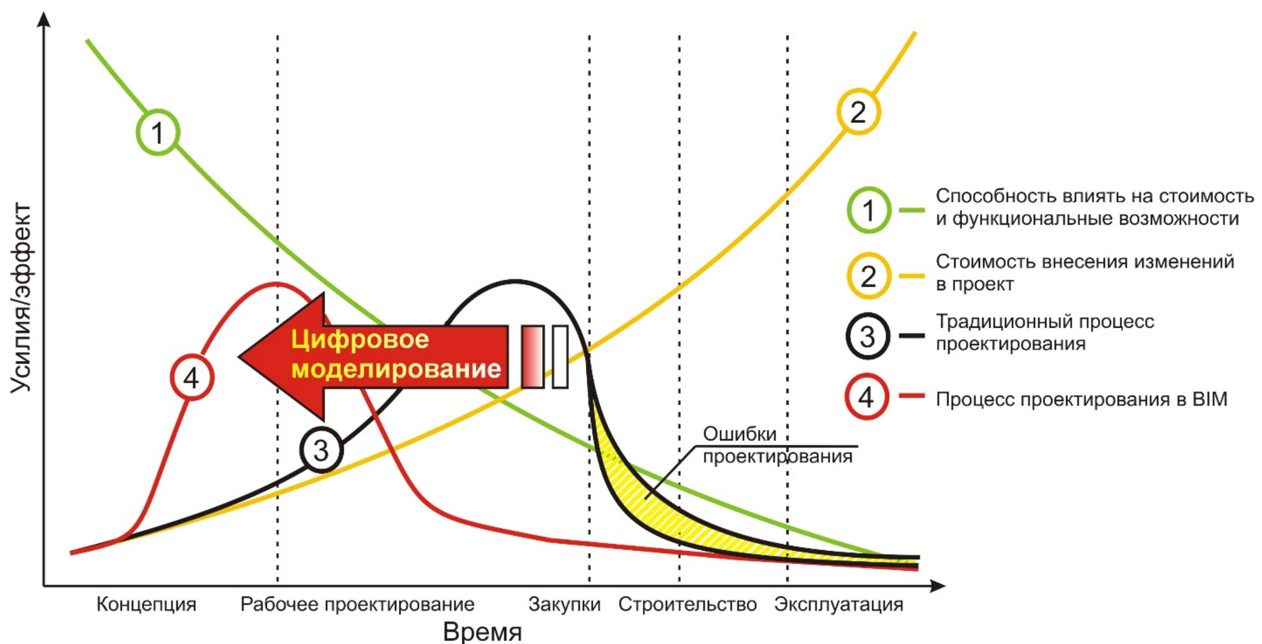


Рис. 2. Процессы проектирования (традиционный и в BIM) [12]

Одной из главных задач при управлении инвестиционно-строительными проектами является установление баланса интересов между техническим заказчиком, проектировщиками и строителями, а также справедливое распределение рисков между всеми участниками проекта [13]. В настоящее время в России нет унифицированных форм контрактов для урегулирования взаимоотношений всех участников инвестиционно-строительной деятельности и распределения рисков. Реализация комплексных строительных проектов с использованием интегрированных договорных отношений не имеет широкого распространения в отечественной практике. Следствием этого является отсутствие общности целей и гармонизации интересов среди участников инвестиционно-строительного процесса. Это приводит к снижению качества проектных и строительно-монтажных работ, повышению сроков и стоимости реализации проектов. Таким образом, сложившиеся условия на строительном рынке перемещают вектор развития организаций строительной сферы к освоению и внедрению новых инструментов и технологий, как основных ресурсов будущего роста [14].

Результаты исследования. Применение BIM-технологий подразумевает в первую очередь создание цифровой информационной модели здания. Далее выполняется реальное строительство объекта. При этом BIM-модель помогает оперативно разрешить текущие задачи, возникающие в ходе осуществления инвестиционно-строительных процессов, а также позволяет принять наиболее эффективные организационно-управленческие решения [15].

Цифровая информационная модель здания формируется в самом начале инвестиционно-строительного проектирования. С использованием специализированного программного обеспечения проектировщиком выполняется разработка 3D-модели здания, элементы которой на различных стадиях будут иметь различный уровень детализации. С развитием проекта 3D-модель дополняется новой информацией, при этом возникающие в проекте ошибки обнаруживаются автоматически. После исправления всех проблемных вопросов и различного рода коллизий начинается выпуск строительной документации. Таким образом, инженер-строитель для выполнения работ получает информацию качественно нового уровня, которая отражает достоверную картину того, каким будет возводимый объект.

На этапе проектирования основным преимуществом BIM выступает возможность экономии времени. При этом, ввиду затрат времени на организацию процесса и обучение сотрудников, ощутить такую экономию в самом начале внедрения технологий BIM при реализации инвестиционно-строительных проектов сложно. Тем не менее, в дальнейшем технология BIM позволяет эффективно управлять рабочим временем при реализации проектов, и его потребуется меньше, а общее время, требуемое для выполнения проекта, может быть сокращено на 20-50 %.

Применение BIM-технологий позволяет экономить ресурсы путем уменьшения количества проектных ошибок или исключения их вовсе, что позволяет обезопасить строительный процесс. Устранение или недопущение ошибок и коллизий возможно даже в случае перехода строительной фирмы на использование BIM-систем, когда процесс проектирования выполнялся в формате 2D, а уже прошедший обучение специалист будет выполнять контроль и тестировать модель в 3D-формате.

Согласно цифровой информационной модели здания можно точно определить технические характеристики объекта, выявить наиболее приемлемые объемно-планировочные и конструктивные решения [16]. Хранение информации при помощи «облачных» технологий позволяет беспрепятственно взаимодействовать всем участникам инвестиционно-строительного проекта. При добавлении к пространственной модели здания параметра времени возможно визуализировать процесс организации строительства, оптимизировать процесс производства работ, использование средств механизации и логистических операций. Таким образом, все участвующие в проекте специалисты с использованием BIM-модели могут с самого начала реализации инвестиционно-строительного проекта вносить в него изменения и обмениваться необходимой информацией. В данном случае цифровая информационная модель здания выступает в качестве интегрированной среды, позволяющей организовать сотрудничество как разработчиков проекта, так и его исполнителей.

Технология BIM позволяет повысить эффективность разработки сметной документации путем применения информационных баз данных и специализированного программного обеспечения, благодаря которым можно проводить мониторинг и анализ затрат на каждом этапе строительных работ, а также выявлять отклонения от бюджетных и плановых нормативов [17].

При реализации инвестиционно-строительного проекта его фактическая стоимость может отличаться от планируемой при проектировании объекта. Зачастую это связано с применением при выполнении оценки объемов работ и их стоимости укрупненных нормативов. При этом в процессе строительства объекта могут быть внесены изменения в проект и график работ, что может привести в итоге к срыву сроков выполнения

строительства, снижению качества строительной продукции и увеличению стоимости объекта. Устаревшая практика проектирования и несовершенство методов строительного надзора приводят к различиям в плановой и фактической стоимости строительства. Таким образом, очевидна необходимость в создании системы объективного контроля документации для объекта строительства по объему и стоимости работ. С использованием BIM-технологий у заказчика появляется возможность мониторинга и контроля за ходом процессов проектирования, строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации объекта капитального строительства, а также контроля расходования средств на всех стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта.

Благодаря BIM-технологиям, которые позволяют создавать высокоинформативные 3D-модели зданий и высокоточные проекты, а также за счет возможности сокращения сроков выполнения строительных операций новые преимущества получает процесс строительного производства. Мобильность осуществления контроля за ходом строительства и соблюдения сроков работ позволяют оптимизировать штат работников организаций строительной сферы.

Перспективно использование BIM-технологий и при контроле точности возведения строительных конструкций зданий [18]. Применение в данном случае инструментов лазерного сканирования позволяет получить облако точек для внесения оперативных изменений в проект, что является важным при выполнении ремонтно-строительных работ на объекте и при его эксплуатации. Таким образом, объем данных, полученный на этапе проектирования и строительства, после того, как объект будет сдан и введен в эксплуатацию, может быть передан для формирования системы мониторинга и управления техническим состоянием объекта. При реализации инвестиционно-строительного проекта с использованием BIM-технологий данные о здании накапливаются на протяжении всего его жизненного цикла.

Этап эксплуатации, как правило, является самым длительным в жизненном цикле проекта и растягивается на десятилетия. Наличие BIM-модели здания приносит значительную пользу и выгоду собственнику объекта, т. к. с помощью нее возможна эффективная организация системы технической эксплуатации объекта, разработка планов ремонтных работ, а также учет расходуемых на эксплуатацию ресурсов и платежей. Однако в настоящее время информационная модель имеется не у всех объектов капитального строительства ввиду того, что многие здания были построены давно, или проектирование объектов было выполнено с применением устаревших технологий. При этом BIM-технологии позволяют сформировать цифровую информационную модель объекта на основе имеющейся проектной документации, а также по результатам обследования зданий или сооружений.

Применение BIM позволяет экономить ресурсы на всех стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта, но повысить эффективность реализации проектов в наибольшей степени возможно только при применении комплексного подхода к внедрению современных информационных технологий. Чем более полной и точной информацией будет наполнена BIM-модель объекта, тем больше средств сэкономит инвестор. Кроме того, оптимизация экономических, экологических и энергетических параметров объекта в BIM-модели позволит экономить ресурсы будущему владельцу здания [19]. Тем не менее отсутствие организации и культуры работы с BIM-системами негативно сказывается на динамике их применения организациями строительной сферы, что обуславливает актуальность определения целей и задач применения BIM на каждом этапе инвестиционно-строительного проекта и необходимость разработки соответствующей нормативно-технической документации [20].

Обсуждение и заключения. На основании анализа проблем строительного сектора можно сделать вывод, что внедрение технологий информационного моделирования (BIM), современных методов управления инвестиционно-строительными проектами, интегрированных договорных отношений, инновационных

технологий в области производства строительной продукции, а также совершенствование систем ценообразования и проведения торгов на подрядные работы являются приоритетными задачами национальной экономической программы. Можно выделить следующие ключевые цели развития отечественной строительной отрасли:

– снижение стоимости и сроков реализации инвестиционно-строительных проектов;
– повышение качества изыскательских, проектных и строительных работ;
– повышение конкурентоспособности российских организаций на отечественном и зарубежных рынках;
– повышение готовности отрасли и организаций к внедрению инноваций;
– повышение эффективности деятельности предприятий строительной сферы.

Достижение этих целей возможно путем адаптации российского строительного рынка и технического регулирования отрасли к международным стандартам, а также переход организаций строительной сферы на концепцию устойчивого строительства с применением современных информационных технологий. Использование BIM-технологий в строительной сфере позволяет предотвратить ошибки в документации и обеспечить безопасную эксплуатацию зданий, экономить средства бюджетов разного уровня, а также увеличить скорость строительных процессов на 10-30 %.

В настоящее время можно наблюдать тенденцию активного внедрения BIM-технологий при государственной поддержке. Согласно исследованию компании PlanRadar, проведенному в марте 2021 года, только около 12 % застройщиков в России используют BIM для проектирования (в 2020 году – 7 %). При этом отмечается, что именно в России на государственном уровне предпринимаются наиболее активные действия, чем в других исследуемых странах, для ускорения развития и внедрения BIM-технологий.

С 1 марта 2022 года в России применение BIM становится обязательным для строительных объектов, финансируемых за счет бюджетных средств любого уровня. А в июле 2022 года единый институт развития в жилищной сфере «ДОМ.РФ» сообщил о разработке национального стандарта, содержащего требования к информационным моделям жилых зданий. Таким образом, в России интерес к BIM серьезно вырос как на государственном уровне, так и среди организаций строительной отрасли. При этом строительные фирмы при реализации инвестиционных проектов внедряют современные информационные технологии с различной степенью эффективности. Затраты на мероприятия по внедрению BIM для компаний зависят от общих особенностей этого процесса, характерных для большинства организаций, а также индивидуальных особенностей каждой отдельной предпринимательской структуры.

Несмотря на активное внедрение BIM-технологий, в настоящее время в строительном секторе наблюдается дефицит инженерных кадров, руководителей и других специалистов с высшим профильным образованием в отрасли, при этом особенно возрастает востребованность в специалистах в области решений, основанных на информационных и интеллектуальных технологиях. Ключевыми требованиями отраслевой профессиональной компетентности становятся навыки и знания в областях использования технологий информационного моделирования и управления строительными проектами на всех этапах их жизненного цикла. Внедрение BIM-технологий в процесс проектирования и строительства имеет стратегический характер.

Библиографический список

1. Ivanova, D. G. The investment process features in housing construction of municipalities / D. G. Ivanova, O. E. Ivanova, S. A. Sukhinin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2020. — Vol. 913. — P. 052017. — DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/913/5/052017.

2. Zelentsov, L. Methodology of making organizational and technological decisions at the stage of operational management of construction operations based on the forecasting system / L. Zelentsov, L. Mailyan, D. Pirko // Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — Vol. 213. — P. 022114. — DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/2/022114.

3. Никулина, О. В. Принципы экономической безопасности в аспекте управления строительством / О. В. Никулина // Инженерный вестник Дона. — 2017. — № 4 (47). — С. 216.

4. Integration of BIM and GIS technologies for sustainable development of the construction industry / S. Sheina, K. Chubarova, D. Dementeev, A. Kalitkin // Lecture Notes in Networks and Systems. — 2022. — Pp. 1303–1311. — DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_132.

5. Kluchnikova, O. Rationalization of strategic management principles as a tool to improve a construction company services / O. Kluchnikova, O. Pobegaylov // Procedia Engineering. — 2016. — Vol. 150. — Pp. 2173–2177. — DOI: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.259.

6. Томашук, Е. А. Влияние факторов рисков и неопределенности на работу строительного производства/ Е. А. Томашук, Д. В. Шишкунова // Научное обозрение. — 2013. — № 11. — С. 165–168.

7. BIM implementation of a full life cycle of building / A. V. Mishchenko, E. P. Gorbaneva, M. A. Preobrazhensky, V. Y. Mishchenko // AIP Conference Proceedings. — 2022. — Vol. 2559. — P. 040006. — DOI: https://doi.org/10.1063/5.0099692.

8. Баркалов, С. А. Подход к оптимизации социально-экономической эффективности строительной инвестиционной программы / С. А. Баркалов, О. С. Перевалова // Системы управления и информационные технологии. — 2019. — № 2 (76). — С. 75–78.

9. Optimal order of construction of facilities in complex development with minimal additional costs / A. Mailyan, E. Korol, R. Petrosyan, D. Antoniadi // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2020. — Vol. 896. — P. 012052. — DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012052.

10. Zilberova, I. Y. Methods and models of multi-criteria evaluation of design solutions for installation of special constructions, used for problem-solving of judicial construction and technical expertise / I. Y. Zilberova // Materials Science Forum. — 2018. — Vol. 931. — Pp. 834–839. — DOI: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.834.

11. 4D BIM for construction planning and environmental planning / S. Sheina, E. Seraya, V. Krikunov, N. Saltykov // E3S Web of Conferences. — 2019. — Vol. 110. — P. 01012. — DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911001012.

12. Лушников, А. С. Оценка эффективности использования технологий информационного моделирования при реализации инвестиционно-строительных проектов / А. С. Лушников // Вестник гражданских инженеров. — 2016. — № 5 (58). — С. 186–194.

13. Курочка, П. Н. Механизмы управления рисками в сложных многоуровневых системах / П. Н. Курочка, Ч. Т. Хонг // Экономика и менеджмент систем управления. — 2015. — № 2 (16). — С. 53–60.

14. Organizational and technological computeraided process of real estate management / L. Girya, E. Zorenko, N. Ulianov [et. al.] // E3S Web of Conferences. – 2021. — Vol. 263. — P. 04032. — DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126304032.

15. Совершенствование процесса строительства с использованием BIM-технологий / Л. Б. Зеленцов, К. А. Цапко, И. Ф. Беликова, Д. В. Пирко // Инженерный вестник Дона. — 2020. — № 3 (63). — С. 3.

16. Digital models of parametric structures / G. Kravchenko, L. Panasyuk, E. Trufanova, L. Pudanova // Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — Vol. 2131. — P. 022118. — DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/2/022118.

17. Никитина, Е. А. Внедрение BIM-технологий в сметную документацию / Е. А. Никитина // Инженерный вестник Дона. — 2020. — № 12 (72). — С. 1–9.

18. Шеина, С. Г. Пример применения BIM-технологий при обследовании зданий и сооружений / С. Г. Шеина, Е. В. Виноградова, Ю. С. Денисенко // Инженерный вестник Дона. — 2021. — № 6 (78). — С. 340–346.

19. Sevryukova, K. S. Factor systems simulation at all phases of an energy-efficient project life cycle / K. S. Sevryukova, E. P. Gorbaneva, V. Y. Mishchenko // AIP Conference Proceedings. — 2022. — Vol. 2559. — P. 040009. — DOI: https://doi.org/10.1063/5.0099693.

20. Анализ сферы управления проектами строительной деятельности / Л. В. Гиря, Т. Ш. Ахобадзе, Е. П. Попов [и др.] // Инженерный вестник Дона. — 2020. — № 11. — С. 56–63.

Поступила в редакцию 27.01.2023

Поступила после рецензирования 29.01.2023

Принята к публикации 09.02.2023

Об авторах:

Зильберова Инна Юрьевна — доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID, zilberova2011@yandex.ru.

Новоселова Ирина Валерьевна — старший преподаватель кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, irina1000000@gmail.com.

Маилян Вадим Дмитриевич — доцент кафедры «Инженерно-строительные дисциплины» Южного федерального университета (344006 РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42), кандидат технических наук, ORCID, mailian@sfedu.ru.

Петров Константин Сергеевич — старший преподаватель кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, pks81@bk.ru.

Швец Артем Евгеньевич — магистрант кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, shvets.artyom@mail.ru.

Заявленный вклад соавторов:

И. Ю. Зильберова — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство, доработка текста, корректировка выводов. И. В. Новоселова — подготовка текста, анализ результатов исследований, формирование выводов. В. Д. Маилян — подготовка текста, анализ результатов исследований, формирование выводов. К. С. Петров — подготовка текста, анализ результатов исследований, формирование выводов. А. Е. Швец — подготовка текста, анализ результатов исследований, формирование выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.